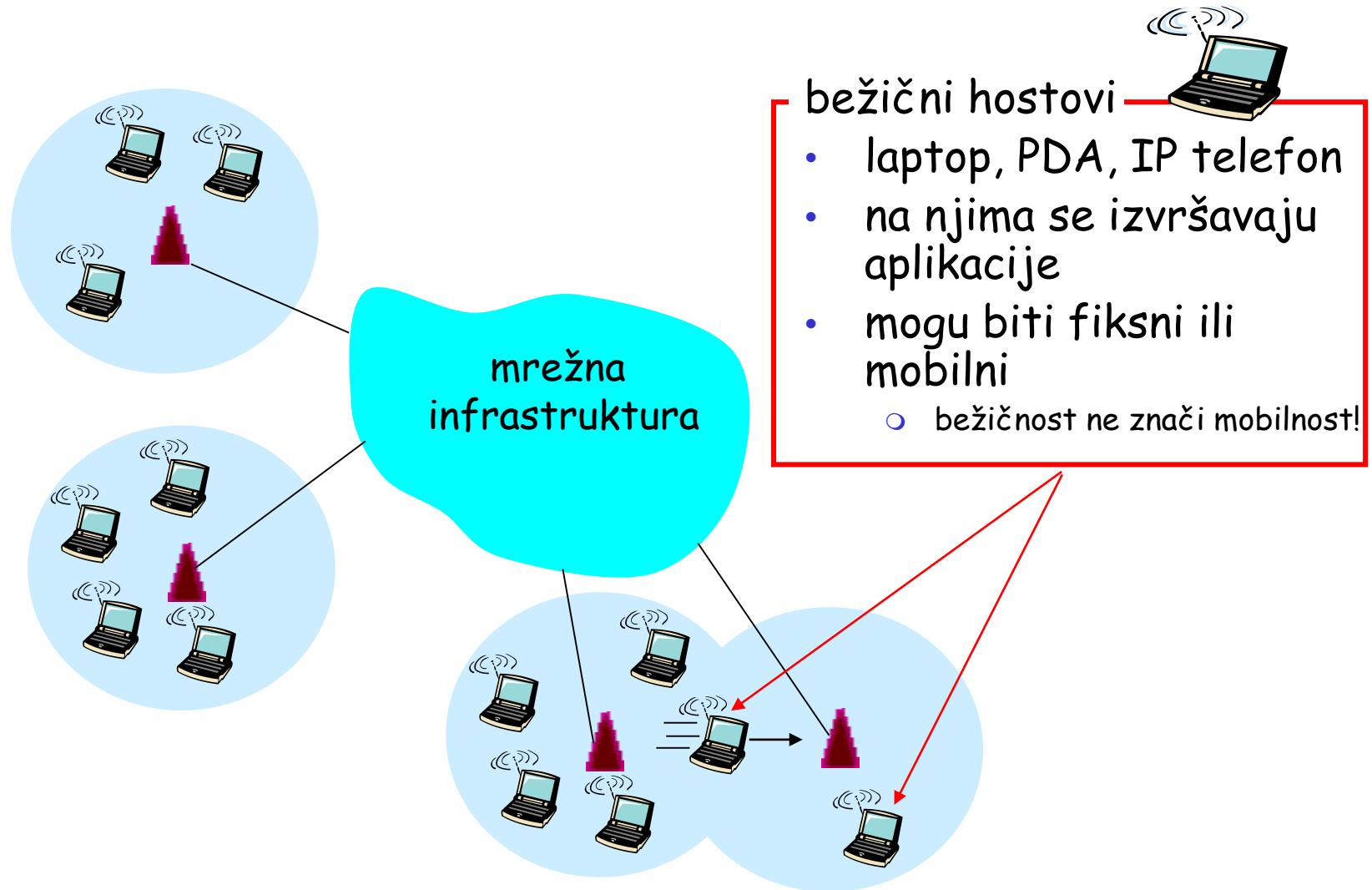


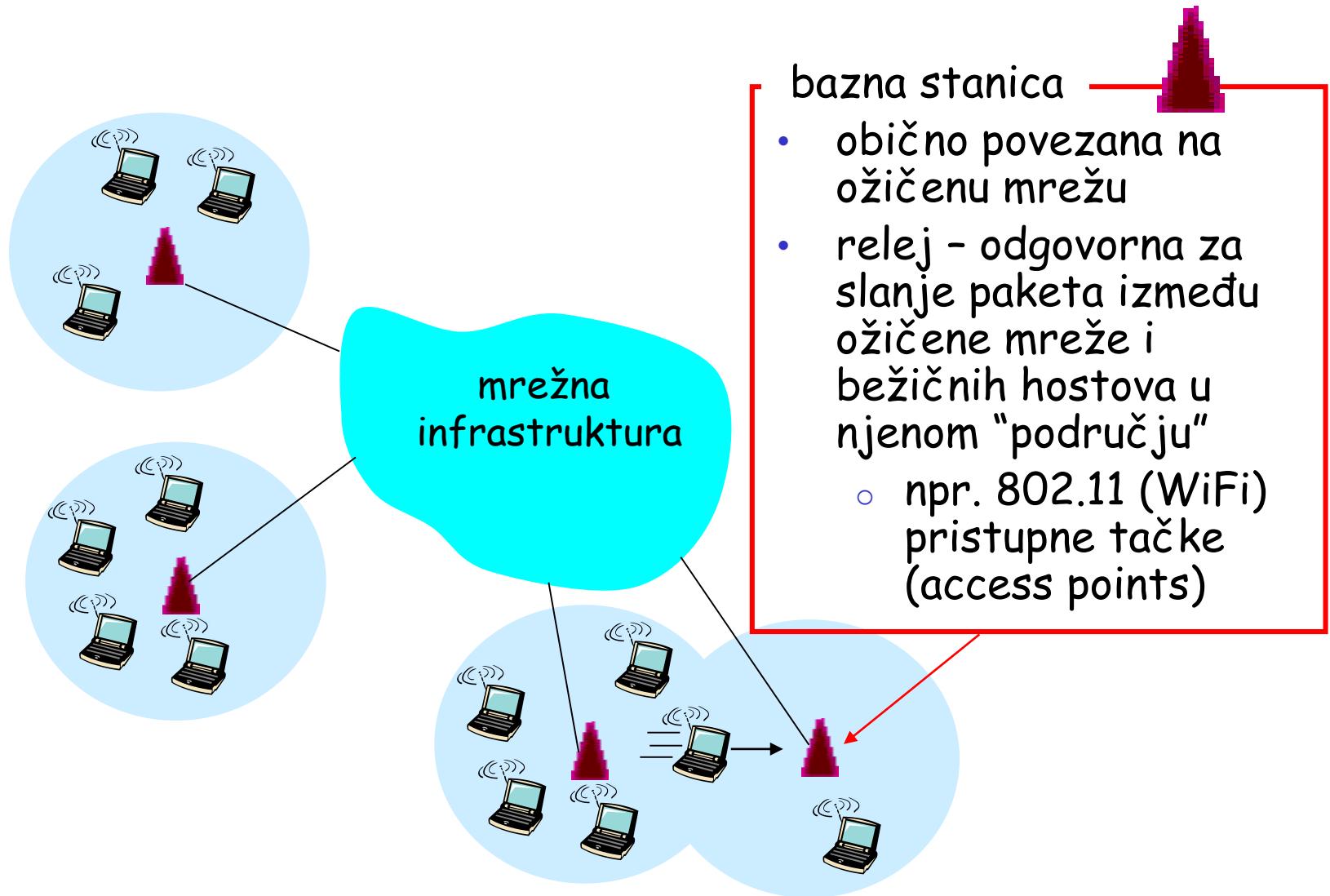
# Bežične pristupne mreže

- Satelitske
- Mobilne
- Ne, WiFi nije pristupna mreža!

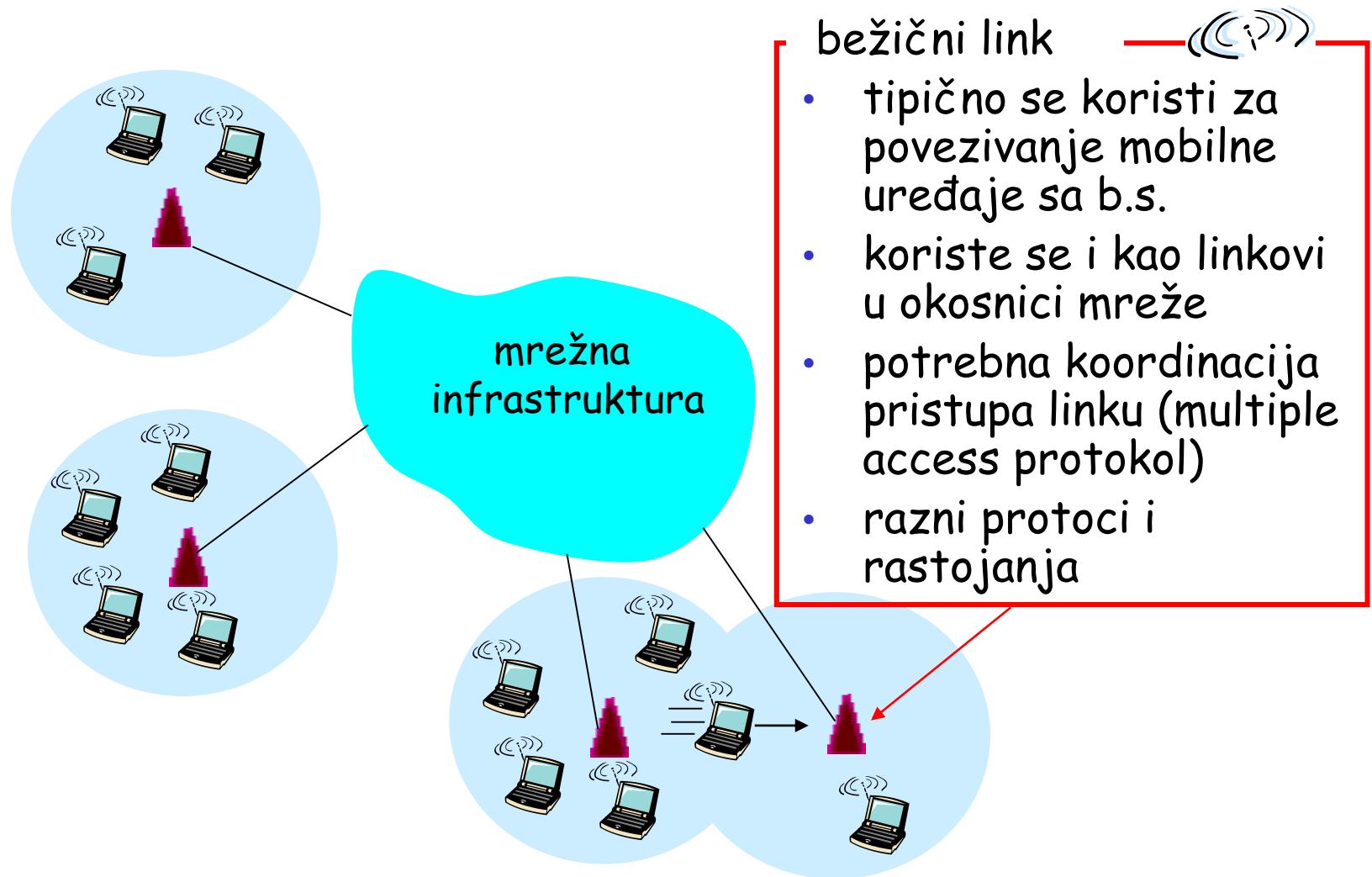
# Elementi mobilne bežične mreže



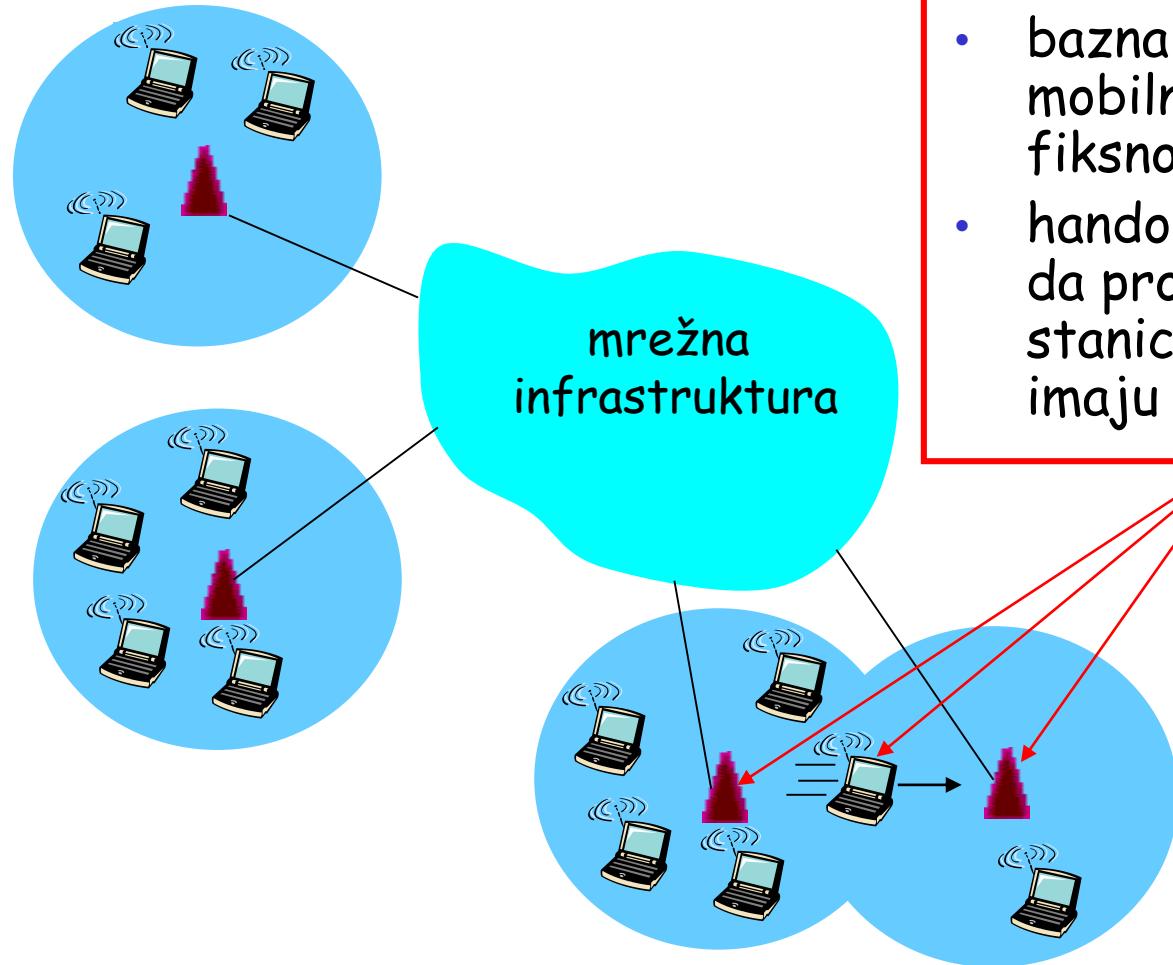
# Elementi mobilne bežične mreže



# Elementi mobilne bežične mreže



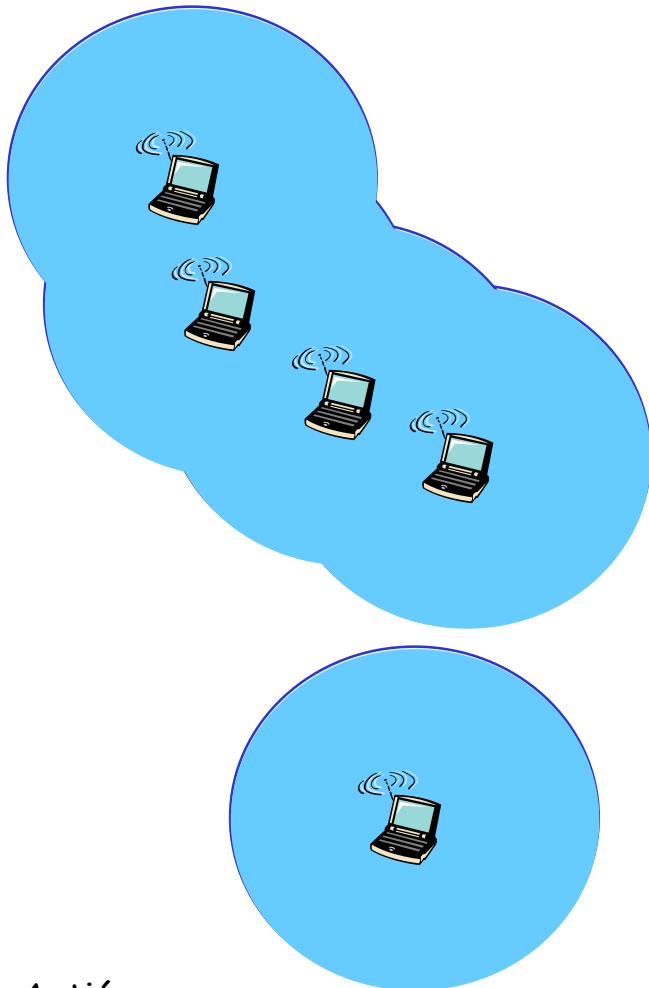
# Elementi mobilne bežične mreže



infrastrukturni mod

- bazna stanica povezuje mobilne uređaje sa fiksnom mrežom
- handoff: uređaji mogu da promene baznu stanicu preko koje imaju izlaz

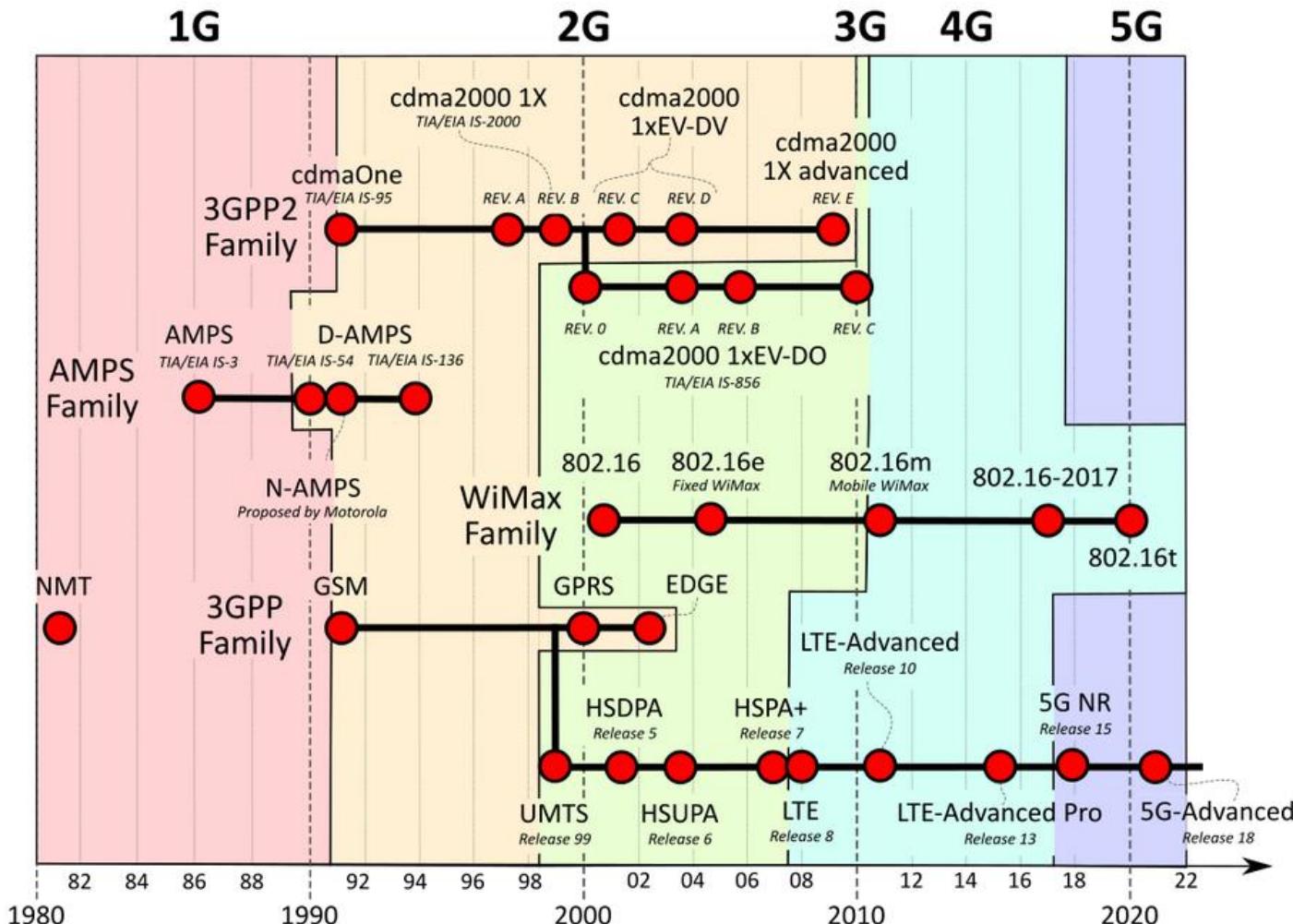
# Elementi mobilne bežične mreže



ad hoc mod

- nema bazne stanice
- čvorovi mogu samo da emituju ka drugim čvorovima u dometu
- čvorovi se organizuju u mrežu: rutiraju međusobno podatke

# Karakteristike bežičnih linkova



# Karakteristike bežičnih linkova

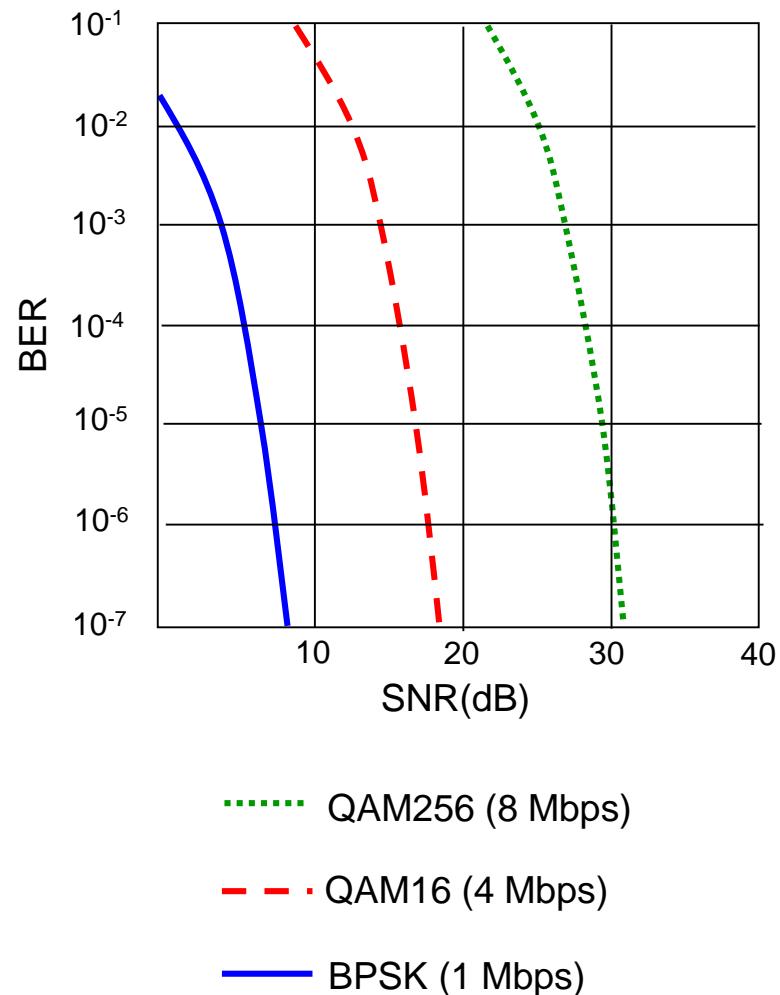
razlike u odnosu na ožičeni link ...

- **opadajuća snaga signala:** radio signal slabi prilikom propagacije (path loss)
- **interferencija sa drugim uređajima:** standardizovane frekvencije bežičnih mreža (npr. 2.4 GHz) koriste i drugi uređaji (npr. telefoni); razni drugi uređaji (motori) utiču na prenos
- **propagacija po više putanja:** radio signal se reflektuje od objekata i tla; ti signali ne stižu na odredište istovremeno

... čine komunikaciju preko (čak i tačka-tačka) bežičnog linka mnogo težom

# Karakteristike bežičnih linkova

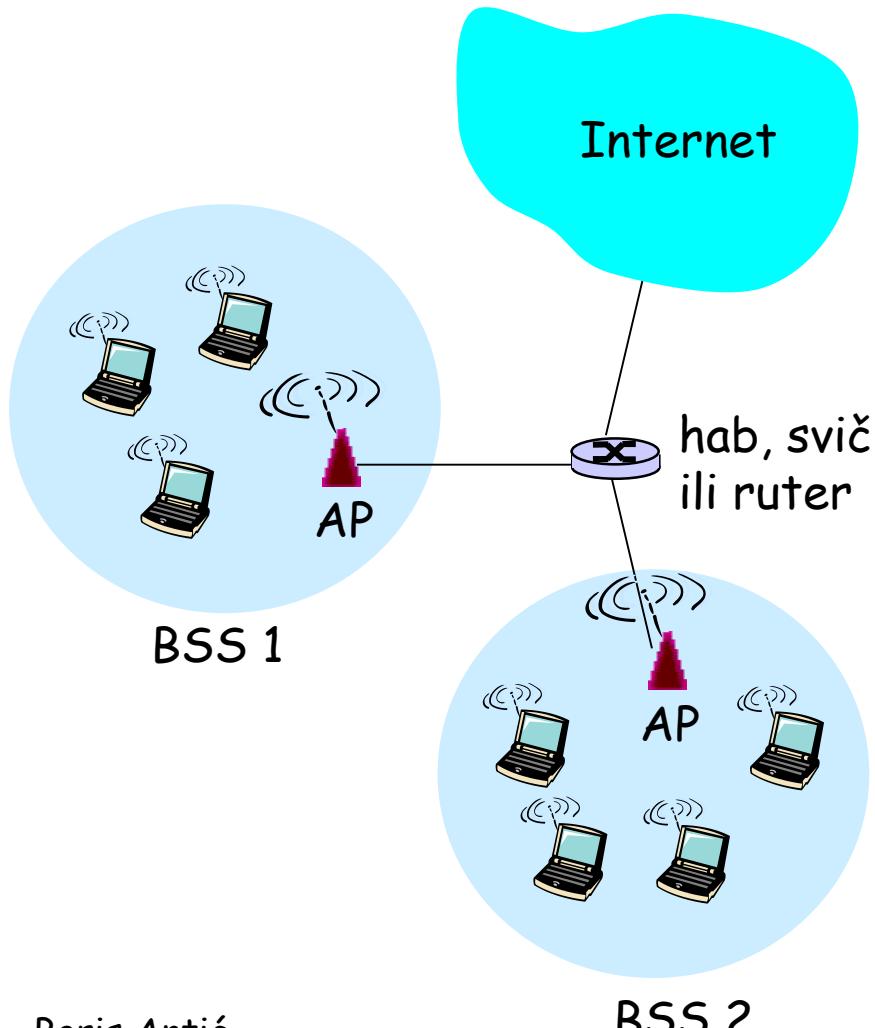
- SNR: signal-to-noise ratio
  - veći SNR - lakše je izvući signal iz šuma (što je dobro)
- *odnos SNR i BER*
  - za dati fizički nivo: povećaj snagu -> povećaj SNR -> smanji BER
  - za dati SNR: izaberi fizički nivo koji ispunjava BER zahteve, dajući najveću propusnost
    - SNR može da se menja zbog mobilnosti: dinamički prilagodi fizički nivo (tehniku modulacije, protok...)



# IEEE 802.11 Wireless LAN

- **802.11b**
    - 2.4-2.5 GHz nelicencirani deo spektra
    - do 11 Mbps
    - prenos u proširenom spektru pomoću direktnе sekvencе (DSSS) na fizičkom nivou
      - svi hostovi koriste isti čip kod
  - **802.11a**
    - 5-6 GHz opseg
    - do 54 Mbps
  - **802.11g**
    - 2.4-2.5 GHz opseg
    - do 54 Mbps
  - **802.11n:** više antena
    - 2.4-2.5 GHz opseg
    - do 200 Mbps
- 
- sve koriste CSMA/CA za višestruki pristup
  - sve imaju dve verzije (dva moda rada), sa baznom stanicom i ad-hoc

# 802.11 LAN arhitektura

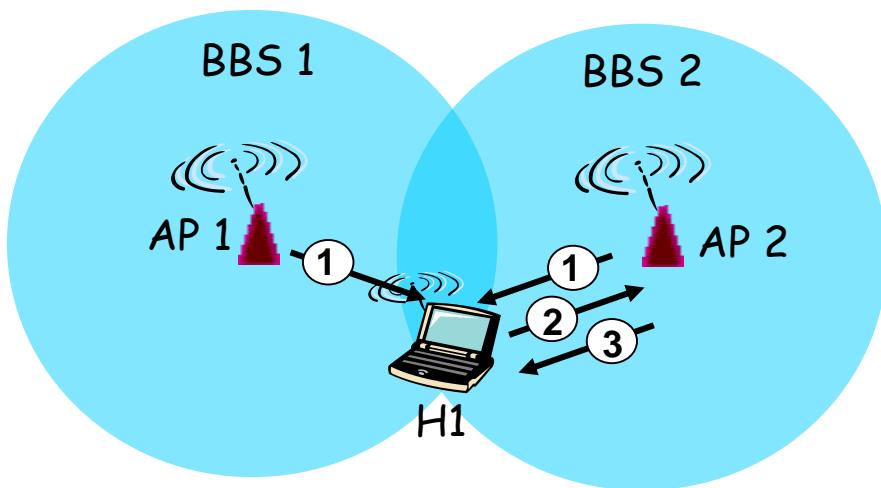


- wireless host komunicira sa baznom stanicom
  - **bazna stanica = access point (AP)**
- **Basic Service Set (BSS)** (ili "ćelija") u infrastrukturnom modu sadrži:
  - bežične hostove
  - access point (AP): bazna stanica
  - ad hoc mod: samo hostovi

# 802.11: kanali, asocijacija

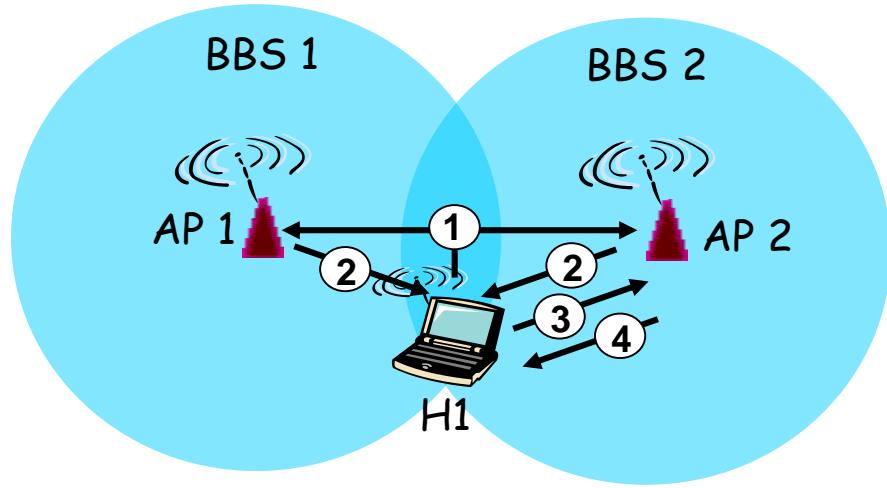
- 802.11b: 2.4 GHz - 2.485 GHz spektar je podeljen na 11 kanala sa različitim učestanostima; 3 se ne preklapaju
  - AP administrator bira frekvenciju za AP
  - interferencija je moguća: kanal može biti isti kao i kanal susedne AP!
- host: mora biti **asociran** sa jednom AP
  - skenira sve kanale, osluškujući beacon ramove koji sadrže ime (SSID) i MAC adresu AP
  - bira AP sa kojom će da se poveže; inicira protokol za asocijaciju
  - može izvršiti autentikaciju
  - obično će pokrenuti DHCP da dobije IP adresu u novoj mreži

# 802.11: pasivno/aktivno skeniranje



## Pasivno Skeniranje:

- (1) AP-ovi šalju "beacon" ramove
- (2) H1 šalje zahtev za asocijacijom izabranoj AP
- (3) AP šalje odgovor na zahtev za asocijacijom



## Aktivno Skeniranje:

- (1) H1 broadcast-uje zahtev
- (2) AP-ovi šalju odgovore
- (3) H1 šalje zahtev za asocijacijom izabranoj AP
- (4) AP šalje odgovor na zahtev

# IEEE 802.11: višestruki pristup

- Kao i Ethernet, koristi CSMA:
  - slučajan pristup
  - osluškivanje kanala: ne emituje ako neko već emituje
- Za razliku od Ethernet-a:
  - nema detekcije sudara - emituje ceo ram
  - potvrde - pošto nema detekcije sudara, ne znamo da li se sudar desio pa se očekuje od prijemnika da pošalje potvrdu za svaki ispravno primljen ram
- Zašto nema detekcije sudara?
  - teško je detektovati sudar tokom emitovanja zbog male snage primljenog signala (fading)
  - ne mogu se detektovati sve kolizije: skrivene stanice, fading
- Cilj: *izbegavanje sudara: CSMA/C(ollision)A(voidance)*

# IEEE 802.11 MAC Protokol: CSMA/CA

## 802.11 predajnik

### Distributed Inter-Frame Space

1 ako je kanal slobodan tokom **DIFS** int. onda

- emituj ceo ram (nema detekcije sudara)

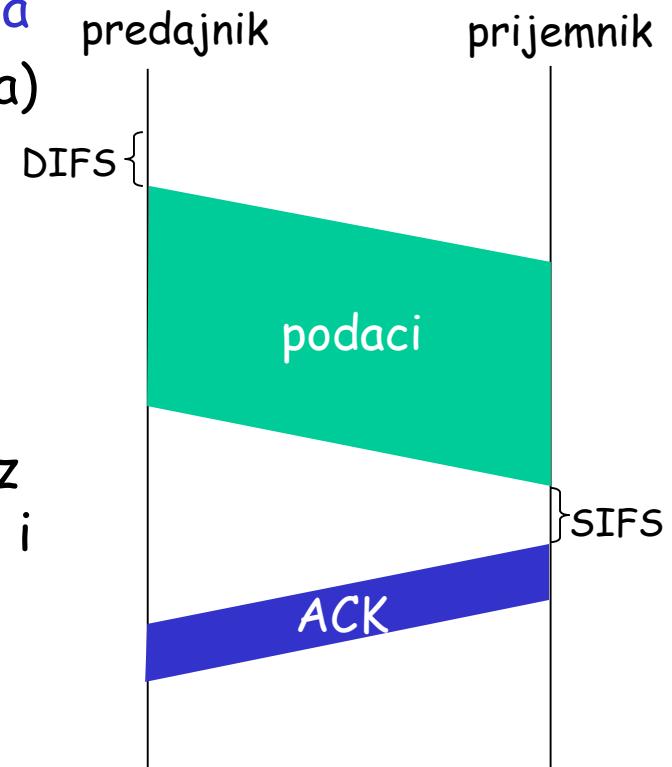
2 ako je kanal zauzet onda

- izaberi slučajan backoff period
- tajmer otkucava dok je kanal slobodan
- kada tajmer istekne, emituj
- ako ne stigne potvrda, povećaj opseg i koga se bira slučajan backoff interval i ponovi korak 2

## 802.11 prijemnik

ako je ram ispravno primljen

- vrati potvrdu (ACK) nakon **SIFS** intervala (potvrda je neophodna zbog problema skrivene stanice)



### Short Inter-Frame Space

# IEEE 802.11 MAC Protokol: CSMA/CA

## SIFS

Standard	SIFS
IEEE 802.11b	10 $\mu$ s
IEEE 802.11a	16 $\mu$ s
IEEE 802.11g	10 $\mu$ s

## DIFS

$$\text{DIFS} = \text{SIFS} + 2 * (\text{Slot time})$$

Standard	Slot time	DIFS
IEEE 802.11b	20 $\mu$ s	50 $\mu$ s
IEEE 802.11a	9 $\mu$ s	34 $\mu$ s
IEEE 802.11g	9 $\mu$ s or 20 $\mu$ s	28 $\mu$ s or 50 $\mu$ s

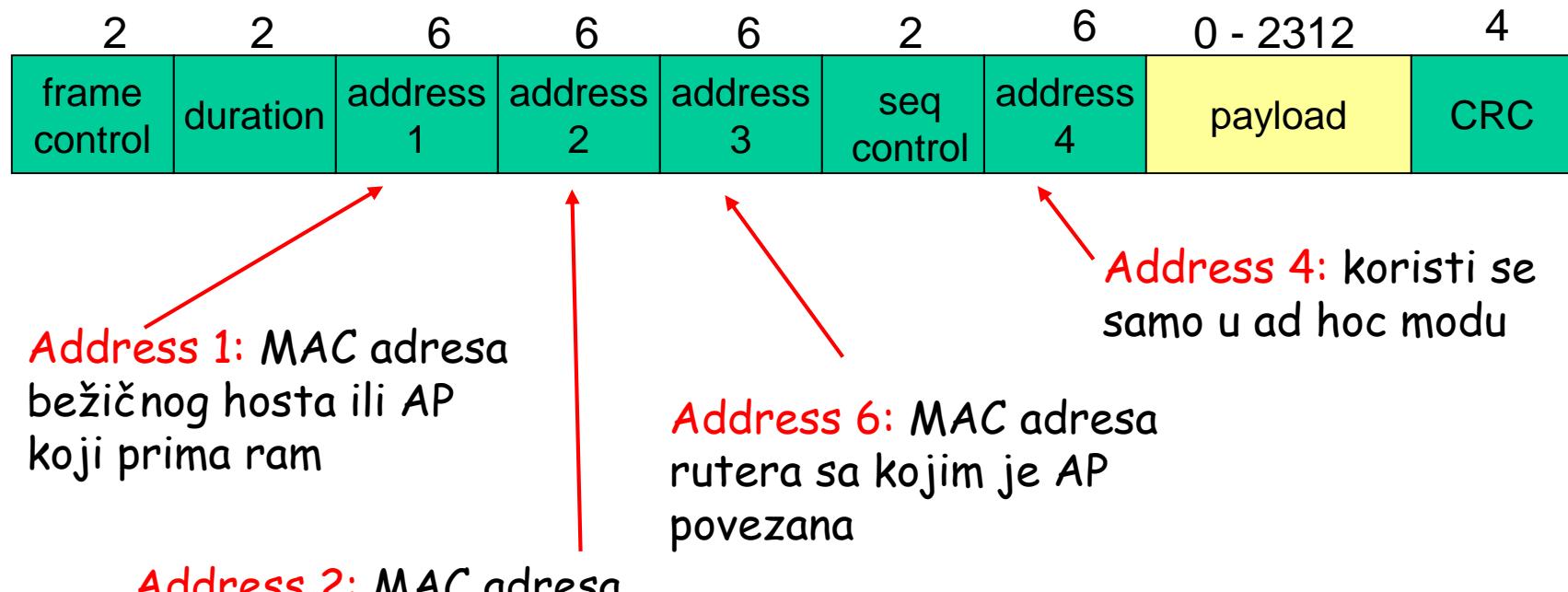
# RTS/CTS

*ideja:* dozvoliti predajniku da "rezerviše" kanal umesto da pristupa kanalu na slučajan način: izbegavanje sudara za velike ramove

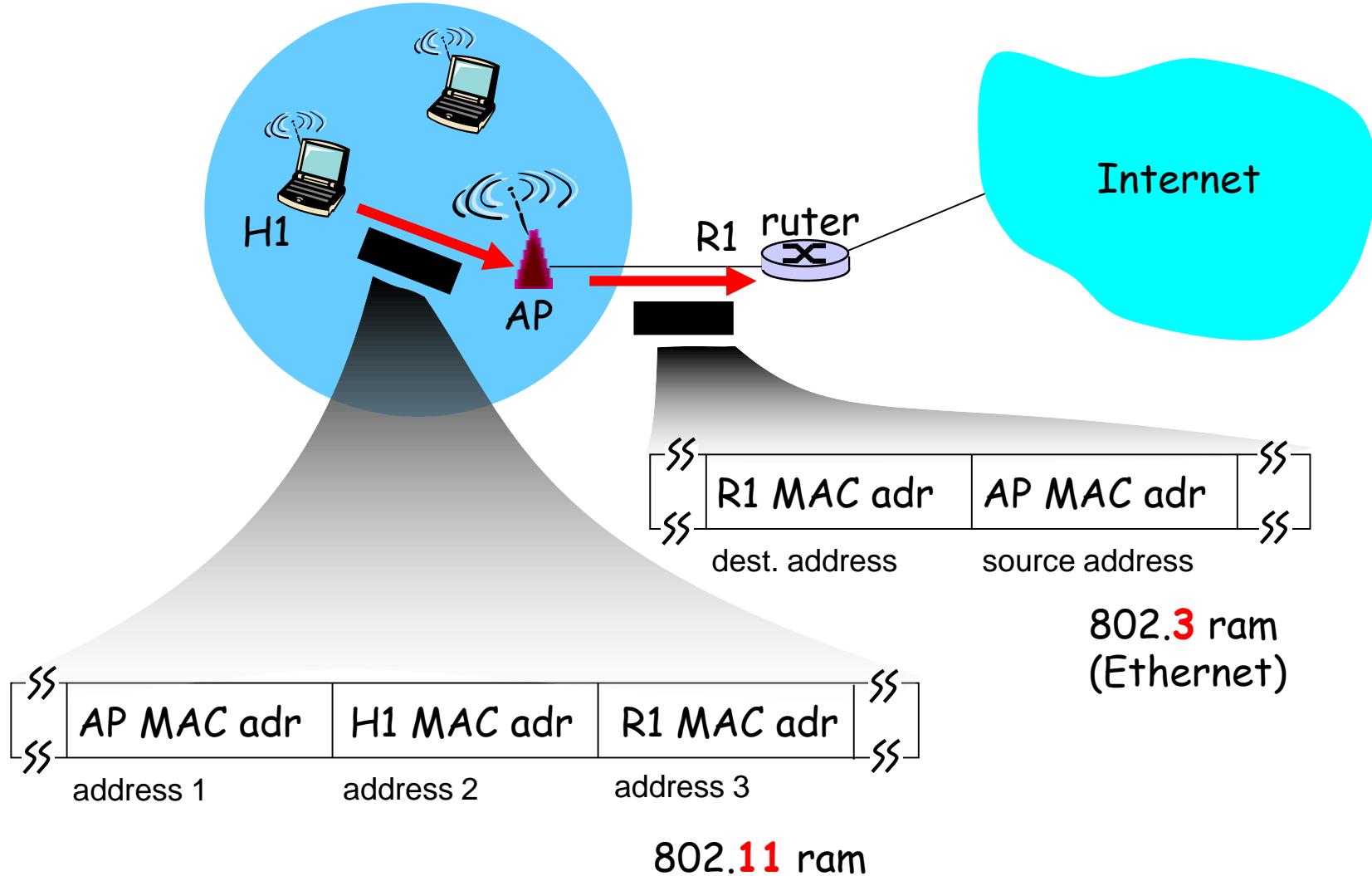
- opcionalno; nije uobičajen način prenosa
- predajnik prvo emituje mali paket koji predstavlja zahtev za rezervacijom kanala (RTS - request-to-send), baznoj stanici koristeći CSMA
  - RTS-ovi i dalje mogu da se sudaraju (ali oni su kratki)
- AP broadcast-uje dozvolu (CTS - clear-to-send) kao odgovor na RTS
- CTS čuju svi čvorovi
  - zatim predajnik emituje podatke
  - ostale stanice odlažu emitovanje

Izbegavaju se sudari podataka  
korišćenjem paketa za rezervaciju!

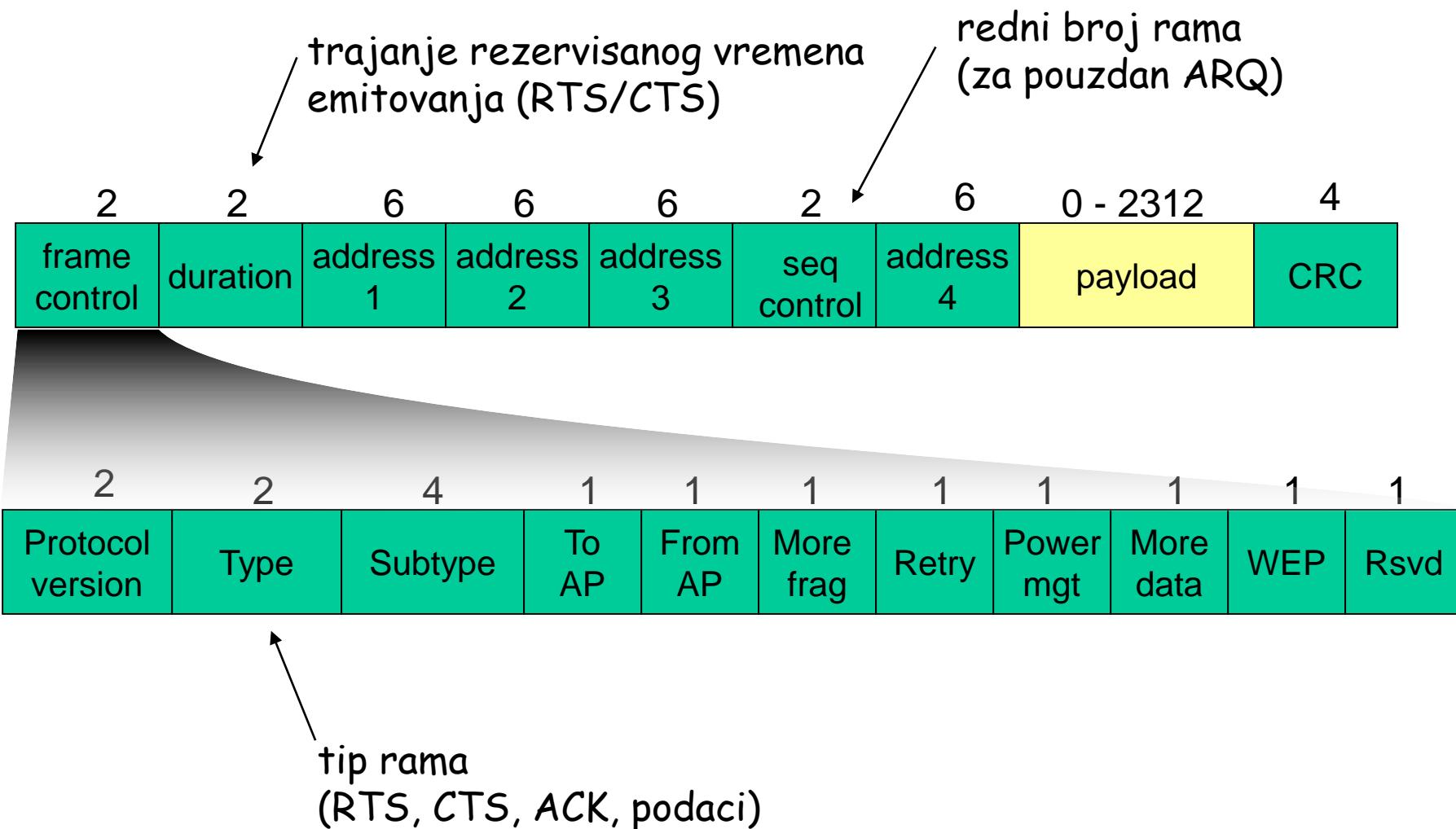
# 802.11 ram: adresiranje



# 802.11 ram: adresiranje

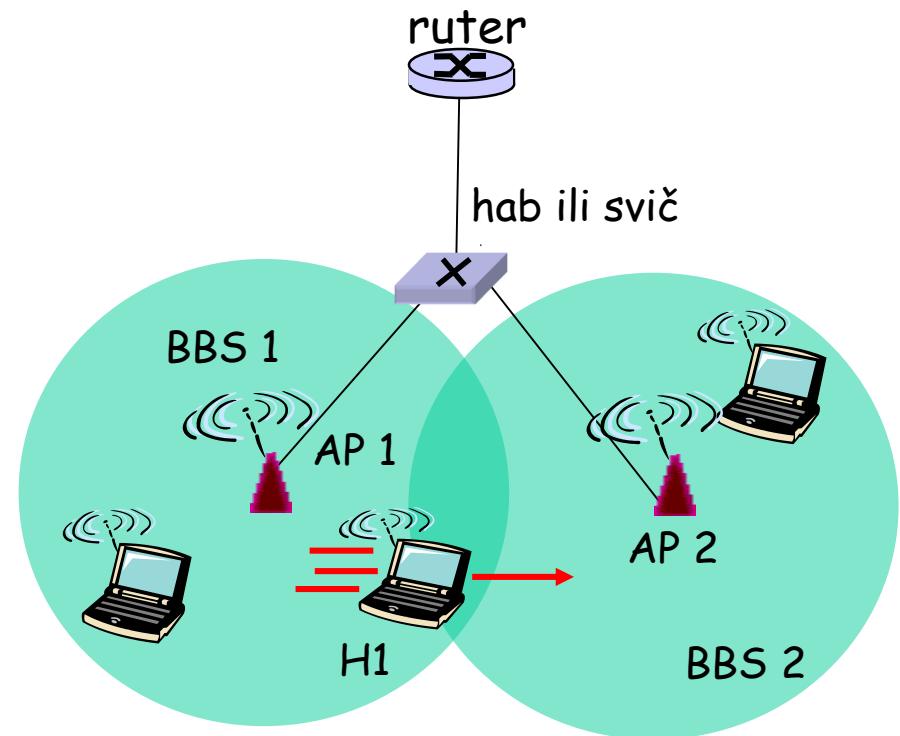


# 802.11 ram: dalje



# 802.11: mobilnost u okviru iste podmreže

- H1 ostaje u istoj IP podmreži: IP adresa može da ostane ista
- svič: kojoj AP je asociran H1?
  - samo-konfiguracija: svič će videti ram od H1 i "zapamtiti" koji port može da koristi da stigne do H1

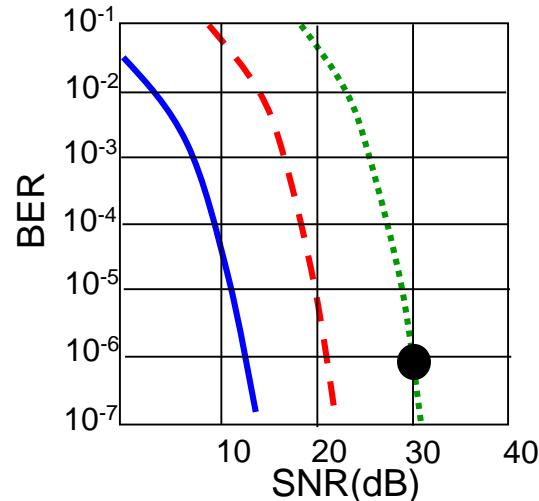


# 802.11: napredne mogućnosti

## Adaptacija protoka

- bazna stanica i mobilni uređaj dinamički menjaju protok (tehnika modulacije na fizičkom nivou); kako se uređaji kreću, SNR varira

Legend:  
--- QAM256 (8 Mbps)  
- - QAM16 (4 Mbps)  
— BPSK (1 Mbps)  
● operating point



1. SNR opada a BER raste kako se čvorovi udaljavaju od bazne stanice
2. Kada BER postane prevelika, prelazi se na manji protok ali sada sa manjim BER

# 802.11: napredne mogućnosti

## *Menadžment snage*

- čvor-ka-AP: "Idem na spavanje do sledećeg beacon rama"
  - AP zna da ne šalje ramove tom čvoru
  - čvor se budi pre narednog beacon rama
- beacon ram: sadrži listu uređaja kojima AP čeka da pošalje ramove
  - čvor će ostati budan ako ima nekih ramova za njega; u suprotnom odlazi na spavanje do narednog beacon rama

# Bežične personalne mreže

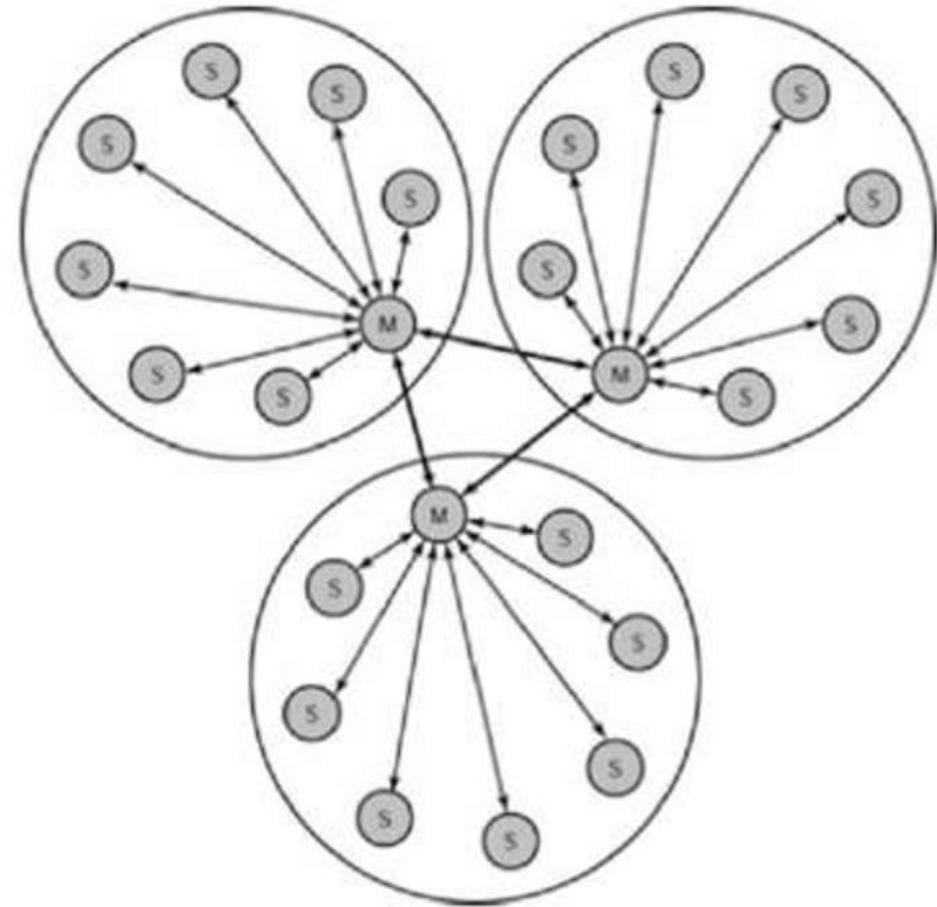
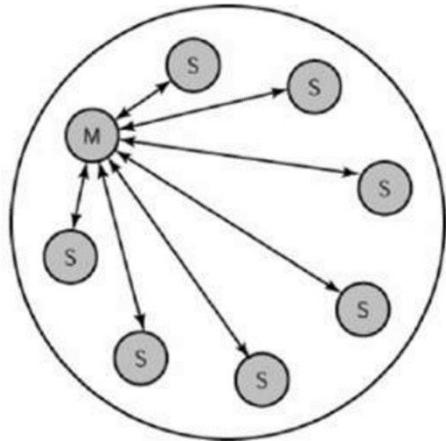
- 802.15 Personal Area Network (to čak nije ni LAN, nego mreža unutar LAN-a)
- 802.15.1 Bluetooth
- 802.15.4 ZigBee
- IrDA
- Wireless USB (nećemo raditi)

# 802.15.1: Bluetooth

- Mala snaga
- Malo odstojanje
- Namenjen za komunikaciju između dva korisnička uređaja koji su pod kontrolom iste osobe

Klasa	Snaga (mW)	Snaga (dBm)	Maksimalna udaljenost (približno)
Klasa 1	100 mW	20 dBm	Do 100 metara
Klasa 1.5	10 mW	10 dBm	Do 20 metara
Klasa 2	2.5 mW	4 dBm	Do 10 metara
Klasa 3	1 mW	0 dBm	Do 1 metar
Klasa 4	0,5 mW	-3 dBm	Do 50 cm (0,5 metara)

# 802.15.1: Bluetooth - topologija



Pikonet  
(1 master - 7 slejvova)

Skaternet

# 802.15.1: Bluetooth - konekcija i režimi rada

- Zahteva uspostavljanje i održavanje konekcije između hostova
- Jedan master - jedan slejv u svakom trenutku
- Stanby režim (na svakih 1.28 sekunde „osluškuje“ poruke od drugih uređaja. Svako „osluškivanje“ se obavlja na 32 različite frekvencije - *frequency hopping*)
- Connection režim

# 802.15.1: Bluetooth - konekcija

- Connection režim

**Active** - odvija se komunikacija

**Sniff** - osluškuje pikonet na sporijem nivou radi smanjenja energije

**Hold** - unutar pikoneta, master uređaj može staviti slejv uređaj u stanje čekanja.

**Park** - koristi se kada uređaj treba da ostane u vezi sa pikonetom ali ne treba da učestvuje u primanju/slanju. U parkiranom modu uređaj ostaje sinhronizovan sa pikonetom ali bez MAC adrese. Parkiranjem neaktivnih uređaja, pikonet se može proširiti sa početnih sedam uređaja, do teoretskih 255.

# 802.15.1: Bluetooth - profili

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP) - audio profil
- Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP) - profil daljinskog upravljača
- Basic Imaging Profile (BIP) - najmoćniji profil koji se koristi za sve ostalo:
  - Npr. profil SIM kartice (SAP) se koristi za povezivanje telefona u kolima na SIM karticu mobilnog telefona

# 802.15.1: Bluetooth - Formiranje pikoneta

- Svi nepovezani Blutut uređaji startuju u stanju pripravnosti.
- Kada jedan uređaj detektuje drugog, počinje procedura uspostavljanja konekcije.
- Prvi uređaj koji je našao drugog se postavlja za master uređaj u budućem pikonetu
- Blutut uređaj šalje jednu od dve moguće komande:
  - *Inquiry* - kada ne znamo ID drugog uređaja
  - *Wake* - kada znamo adresu drugog uređaja
  - Drugi uređaj odgovara sa:
    - Imenom
    - Klasom
    - Listom usluga i
    - Tehničkim specifikacijama

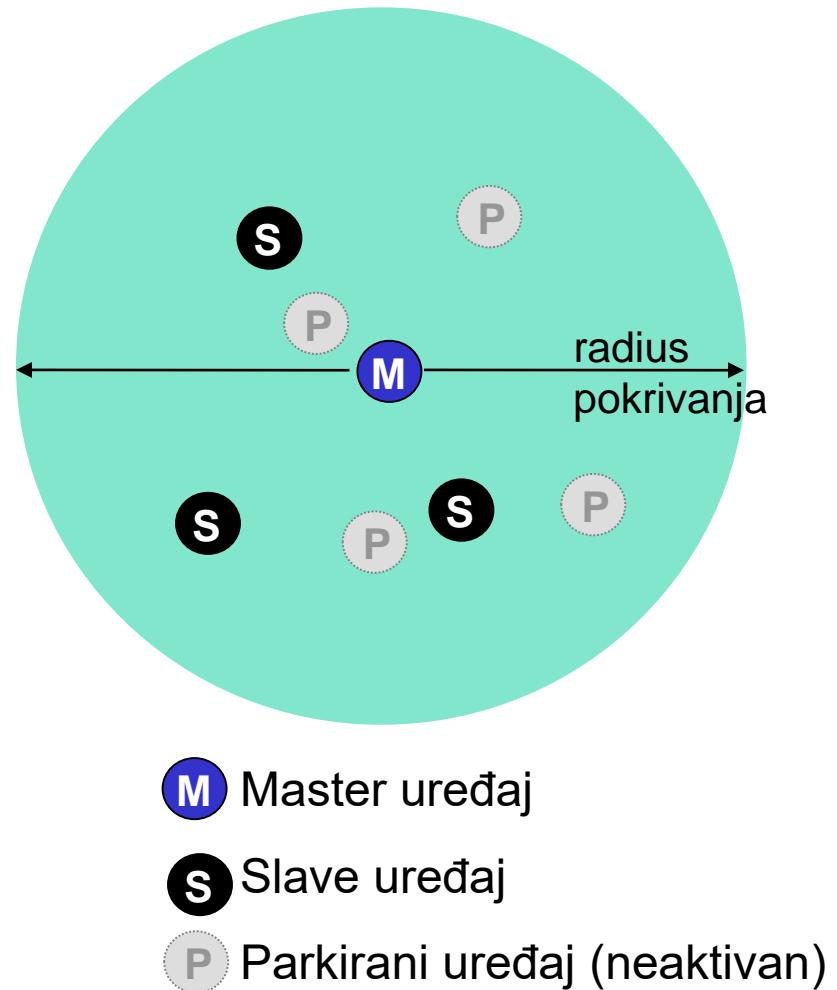
# 802.15.1: Bluetooth - Adresiranje

Svaki uređaj ima jedinstvenu 48 - bitnu adresu, koja se ne vidi u komunikaciji nego se koristi ime koje je korisnik sam uneo. Većina mobilnih i laptopova ima podešeno ime po imenu modela tog uređaja, što može biti jako konfuzno ako u komunikaciji postoji više istih modela. Retko koji model podržava promenu imena, zato postoje posebni programi koji omogućavaju promenu imena.

Svaki uređaj pored imena poseduje i 24 - bitni identifikator klase. On sluzi da bi se mogao prepoznati tip uređaja

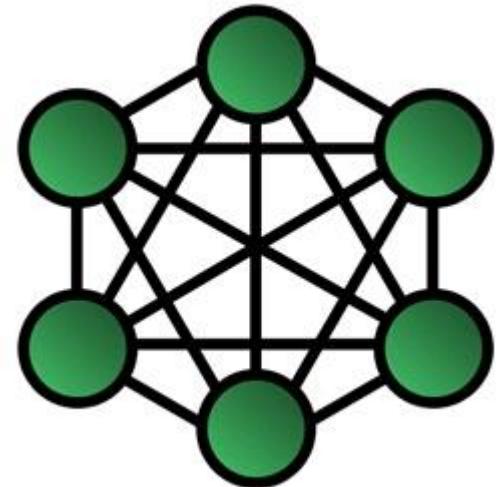
# IrDA

- prečnika manjeg od 10 m
- zamena za kablove (miš, tastatura, slušalice)
- ad hoc: bez infrastrukture
- master/slaves:
  - slave uređaji traže dozvolu za slanje od master-a
  - master odobrava zahteve
- Evoluirala iz BlueTooth-a
  - 2.4-2.5 GHz radio opseg
  - do 721 kbps



# 802.15.4 Zigbee

- Podrška za različite toplogije, čime se prevazilaze ograničenja Bluetooth-a
- Svrha mu je da minimizuje vreme uključenosti radio predajnika
- Ima povećanu bezbednost



## 802.15.4 Zigbee - uređaji

- ZigBee Coordinator - najsposobniji uređaj, koren stabla mreže i uređaj koji služi za spajanje sa drugim mrežama. Svaka mreža ima samo jedan koordinator. On je u stanju da skladišti informacije o mreži.
- ZigBee Router - prosleđuje podatke;
- ZigBee End Device - sadrži upravo onoliko funkcija koliko mu je dovoljno da komunicira sa matičnim čvorom. On "spava" i na taj način štedi bateriju.

## 802.15.4 Zigbee - Mrežni režimi

- Beacon-enabled Zigbee  
Svi nodovi stalno šalju u istim pravilnim intervalima od 15,36 ms do 786,432 s;  
Duži intervali su skuplji za realizaciju
- Non-beacon-enabled Zigbee  
Koristi se neslotovana CSMA/CA tehnika pristupa, ruteri su stalno aktivni, troše energiju, ali omogućavaju heterogenu mrežu (neki stalno šalju, a neki po potrebi)

## 802.15.4 Zigbee - mrežni i aplikacioni sloj

- Mrežni sloj upravlja paketima, uspostavom i raskidanjem veze, jer ne postoji transportni sloj
- AODV rutiranje emitovanjem zahteva susedima koji ga emituju daje dok se ne nađe odredište. Odgovor ide unicast rutiranjem po putanji koja je „najefitija“ i ruter ažurira adresu.

[AODV = Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing]

- ZDO (Zigbee device object) i njegove procedure primenjuju se na aplikacionom sloju. Tu se nalaze tabele klastera, sortiraju se paketi, definišu se profili i inicira se slanje poruka

# 802.15.4 Zigbee - komunikacija i otkrivanje uređaja

- Nema pravila. Sve zavisi od onoga ko je podešavao parametre mreže
- Ako je topologija uanpred poznata, bolje je koristiti unicast uspostavu veze
- Kada je reč o ad-hoc mrežama, mora se koristiti AODV
- Ako postoji opasnost od preklapanja više mreža Zigbee kooridnatori moraju imati postavljene identifikatore klastera u tabelama na aplikacionom sloju
- Nakon otkrivanja čvorova, komunikacija se odvija kao unicast ili kao broadcast

# Pitanja?